

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6198154号
(P6198154)

(45) 発行日 平成29年9月20日(2017.9.20)

(24) 登録日 平成29年9月1日(2017.9.1)

(51) Int.Cl.		F I	
GO 1 B	11/00 (2006.01)	GO 1 B	11/00 B
GO 1 B	11/02 (2006.01)	GO 1 B	11/02 G
GO 1 S	17/32 (2006.01)	GO 1 S	17/32
GO 1 S	17/88 (2006.01)	GO 1 S	17/88

請求項の数 31 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2015-502457 (P2015-502457)	(73) 特許権者	511256923
(86) (22) 出願日	平成25年3月28日 (2013.3.28)		ザ セクレタリー オブ ステイト フォー
(65) 公表番号	特表2015-514981 (P2015-514981A)		ー ビジネス イノベーション アンド
(43) 公表日	平成27年5月21日 (2015.5.21)		スキルズ
(86) 国際出願番号	PCT/GB2013/050837		イギリス国 グレイターロンドン エスタ
(87) 国際公開番号	W02013/144648		ブリュー1 オーティアー ロンドン ヴ
(87) 国際公開日	平成25年10月3日 (2013.10.3)		ィクトリア ストリート 1
審査請求日	平成28年3月28日 (2016.3.28)	(74) 代理人	100082647
(31) 優先権主張番号	1205563.8		弁理士 永井 義久
(32) 優先日	平成24年3月29日 (2012.3.29)	(72) 発明者	ヒューズ, エドワード ベンジャミン
(33) 優先権主張国	英国 (GB)		イギリス国 グレイターロンドン エスタ
(31) 優先権主張番号	1300433.8		ブリュー1 オーティアー ロンドン ヴ
(32) 優先日	平成25年1月10日 (2013.1.10)		ィクトリア ストリート 1 ザ セクレ
(33) 優先権主張国	英国 (GB)		タリー オブ ステイト フォー ビジネ
			ス イノベーション アンド スキルズ内
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 測定デバイス、システムおよび方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

測定システムは：

以下の：

光ディレクタおよび空間光変調器であって、前記光ディレクタは、光を前記空間光変調器に向けるように配置されており、前記空間光変調器は、前記光ディレクタから光を受け取り、その光を変調して強度パターンを形成するように配置されている、光ディレクタおよび空間光変調器と；

前記強度パターンを形成した光を受け取るように配置され、前記強度パターンを測定空間に拡大するように構成されている光学エレメント (optical element、以下同じ) と；

及び

前記測定空間から反射される光を検出するように配置されている検出器とを含む前記測定デバイス；

を含み、

前記測定システムは、前記検出器に光を反射するための少なくとも一つのリトロフレクト・ターゲット (retroreflective target、以下同じ) を含む測定システム。

【請求項2】

複数の前記測定デバイスを含む、請求項1に記載の測定システム。

【請求項3】

前記複数の測定デバイスは、測定されるべき対象物の周囲に配置されている、請求項2

10

20

に記載の測定システム。

【請求項 4】

前記少なくとも 1 つのリトリフレクト・ターゲットは複数のリトリフレクト・ターゲットである、請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載の測定システム。

【請求項 5】

前記リトリフレクト・ターゲットは、測定されるべき 1 つまたは複数の対象物上に配置されている、請求項 4 に記載の測定システム。

【請求項 6】

前記光学エレメントは、前記強度パターンを、前記光学エレメントからほぼ無限遠の距離において結像するように構成されている、請求項 1 ~ 5 のいずれか 1 項に記載の測定システム。 10

【請求項 7】

前記光学エレメントは、前記強度パターンを発散させるように前記測定空間に拡大するように構成されている、前項までのいずれか一項に記載の測定システム。

【請求項 8】

前記光学エレメントは、0.2 よりも高い、好ましくは 0.4 よりも高い、最も好ましくは 0.6 よりも高い開口数を有する、前項までのいずれか一項に記載の測定システム。

【請求項 9】

前記空間光変調器から受け取られる光から前記強度パターンを形成するように構成されている第 2 の光学エレメントをさらに含む、前項までのいずれか一項に記載の測定システム。 20

【請求項 10】

前記空間光変調器はプログラム可能であり、それによって、前記強度パターンが制御可能である、前項までのいずれか一項に記載の測定システム。

【請求項 11】

前記空間光変調器を制御するための制御ユニットをさらに含み、前記制御ユニットは、前記光ディレクタからの光によって照明されると、前記測定空間内に少なくとも 1 つの光ビームを生成するために、前記空間光変調器を制御して前記強度パターンを形成するように構成されている、前項までのいずれか一項に記載の測定システム。 30

【請求項 12】

前記制御ユニットは、前記光ディレクタからの光によって照明されると、前記測定空間内に複数の光ビームを生成するために、前記空間光変調器を制御して前記強度パターンを形成するように構成されている、請求項 11 に記載の測定システム。

【請求項 13】

前記制御ユニットは、各ビームを前記測定空間内のリトリフレクト・ターゲットに向けるように動作可能である、請求項 11 又は 12 のいずれか一項に記載の測定システム。

【請求項 14】

前記制御ユニットは、前記測定空間内の 1 つまたは複数のリトリフレクト・ターゲットの動きを補償するように、前記空間光変調器を制御するように動作可能である、請求項 13 に記載の測定システム。 40

【請求項 15】

前記光ディレクタは、前記測定空間からのリトリフレクト光を、前記検出器に向けるように構成されている、前項までのいずれか一項に記載の測定システム。

【請求項 16】

前記光ディレクタは、入力光の第 1 の部分を前記空間光変調器に向けて、入力光の第 2 の部分を、前記測定空間から反射される光を用いたインターフェロメトリ (interferometry、以下同じ) を実行するための基準光として、前記検出器に向けるように配置されている光分割器を含む、請求項 15 に記載の測定システム。

【請求項 17】

前記光ディレクタは光ファイバを含み、前記光分割器は、前記光ファイバの端部によっ 50

て提供され、前記光ディレクタは、前記光ファイバの前記端部から、または前記測定空間から反射される光を前記検出器に向けるように構成されている導光素子をさらに含む、請求項 16 に記載の測定システム。

【請求項 18】

前記光ディレクタに入力光を提供するための光源をさらに含む、前項までのいずれか一項に記載の測定システム。

【請求項 19】

前記光源はレーザである、請求項 18 に記載の測定システム。

【請求項 20】

前記測定デバイスは、周波数走査インターフェロメトリを使用して距離を測定するように構成されている、前項までのいずれか一項に記載の測定システム。

10

【請求項 21】

ターゲットを測定する方法であって：

複数のリトロリフレクト・ターゲットを測定空間内に配置することと；

光を空間光変調器に向けることと；

前記測定空間内に複数の光ビームを生成するために前記光を変調するように、前記空間光変調器を操作するステップであって、少なくとも 1 つのビームが前記リトロリフレクト・ターゲットの各々に向けられる、操作と；及び

検出器において前記リトロリフレクト・ターゲットの各々から反射される光を検出し、それによって、各リトロリフレクト・ターゲットに関連付けられる測定値を求める検出とを含む、ターゲットを測定する方法。

20

【請求項 22】

前記測定空間内で前記リトロリフレクト・ターゲットを動かすことと、前記リトロリフレクト・ターゲットの各々を前記ビームの少なくとも 1 つを用いて照明し続けるために、強度パターンを調整する前記空間光変調器の操作とを含む、請求項 21 に記載の方法。

【請求項 23】

前記リトロリフレクト・ターゲットの各々を前記ビームの少なくとも 1 つを用いて照明し続けるために、前記リトロリフレクト・ターゲットの動きに応じて、制御ユニットが前記動きを補償するように前記空間光変調器を操作する、請求項 22 に記載の方法。

【請求項 24】

30

前記測定空間内に複数のビームを生成するために前記光を変調する、前記空間光変調器の操作は、強度パターンを生成する前記空間光変調器の操作と、前記測定空間内に前記複数のビームを生成するために前記強度パターンを前記測定空間に拡大することを含む、請求項 21 ~ 23 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 25】

前記強度パターンを拡大することは、前記ビームの各々が前記測定空間内の発散ビームであるように、前記強度パターンを発散させるように拡大することを含む、請求項 24 に記載の方法。

【請求項 26】

前記強度パターンは前記空間光変調器からほぼ無限遠の距離において結像される、請求項 24 又は 25 のいずれかに記載の方法。

40

【請求項 27】

前記空間光変調器はプログラム可能であり、それによって、前記強度パターンが制御可能である、請求項 21 ~ 26 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 28】

検出器での前記リトロリフレクト・ターゲットの各々から反射される光の検出は、前記測定空間からリトロリフレクトされる光を前記検出器に向けることを含む、請求項 21 ~ 27 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 29】

検出器において前記リトロリフレクト・ターゲットの各々から反射される光を検出し、

50

それによって、各リトロリフレクト・ターゲットに関連付けられる測定値を求めることは、基準光を前記検出器に向けることと、各リトロリフレクトエレメント (retroreflective element) に関連付けられる距離の測定値を求めるために、前記基準光、および、前記測定空間から反射される光を用いてインターフェロメトリを実行することを含む、請求項 21 ~ 28 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 30】

光を空間光変調器に向けることは、入力光の第 1 の部分を前記空間光変調器に向けることと、入力光の第 2 の部分を、前記基準光を提供するために前記検出器に向けることを含む、請求項 29 に記載の方法。

【請求項 31】

複数の前記空間光変調器を前記測定空間内に配置することと、光を前記空間光変調器の各々に向けることと、前記測定空間内に複数のビームを生成するために、前記光を変調する前記空間光変調器の各々の操作を含み、各空間光変調器に関連付けられる少なくとも 1 つのビームが前記リトロリフレクト・ターゲットの各々に方向付けられ、

検出器での検出は、検出器で、前記リトロリフレクト・ターゲットの各々から反射される光を検出し、それによって、前記リトロリフレクト・ターゲットの各々の多次元座標を求めることを含む、請求項 21 ~ 30 のいずれか一項に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、特に距離を測定するための測定デバイス、システムおよび方法に関する。

【背景技術】

【0002】

対象物を測定するための様々な方法が存在する。既知の方法は、たとえば、レーザ・トラッキングを含む。

【0003】

レーザ・トラッカは、角度ベースのセンサと距離ベースのセンサとの組合せを使用する。レーザ・トラッカは細いコリメートされたレーザ・ビームを、球状に取り付けられたリトロリフレクタ (SMR) のような、特殊なリトロリフレクト・ターゲットに放射する。SMR は、放射されたビームと同じ経路に沿ってビームを機器に反射し戻す。レーザ・トラッカ内のセンサが、SMR の動きを検出し、あるメカニズムが、常に SMR に追従するためにレーザ・ビームを誘導する。ビーム誘導メカニズム上の角度エンコーダが、レーザ・トラッカから SMR への垂直角度および水平角度を測定し、レーザ・ベースの距離測定システムが、SMR までの距離を測定する。2 つの角度と距離とをこのように組み合わせることによって、SMR の三次元座標が球面極形式で与えられる。

【0004】

この技法の欠点は、各レーザ・トラッカが常に一度に単一の反射体しかモニタリングすることができないことである。このことは、特に多くの基準点が必要とされる大きい構造物の場合には、1 つのプロセスにおいてトラッカが順に各反射体へと誘導されなければならない、これには時間がかかり大きな労働力を要する可能性があり、さらに、これが行われている間、すべてのターゲットが静止していなければならないということを意味する。

【0005】

上記の技法の別の欠点は、異なる箇所にある SMR を検出するためにトラッカの一部分を動かす必要があることに起因する。この動きを制御する機械構造が不完全であると、測定される座標に誤りが生じる。

【0006】

別の欠点は、角度ベースの測定値を使用することに起因する。トラッカとターゲットとの間の線に垂直な方向における SMR 位置の不確実性は、トラッカとターゲットとの間の距離と、ターゲットに対する角度の測定値の不確実性との積に比例する。角度測定値の不確実性は、角度センサの不確実性、空気の温度勾配によって引き起こされるレーザ・ビー

10

20

30

40

50

ムの湾曲、および、空気の乱流によって引き起こされるレーザ・ビーム方向に対するランダム外乱が組み合わさった結果である。これによって、SMRがトラックから長い距離をおいて位置するとき、SMR位置に大きい不確実性が生じる可能性がある。角度ベースの座標測定システムは、一般的な産業環境に配備されると、距離ベースのシステムよりも本質的に正確でない。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0007】

【非特許文献1】Gerchberg, R., & Saxton, W. (1971). Phase determination for image and diffraction plane pictures in the electron microscope. *Optik*. Retrieved from http://scholar.google.co.uk/scholar?hl=en&q=gerchberg+saxton&btnG=&as_sdt=1%2C5&as_sdt_p=#7 10

【非特許文献2】Takatsuji, T., Goto, M., Osawa, S., Yin, R., & Kurosawa, T. (1999). Whole-viewing-angle cat's-eye retroreflector as a target of laser trackers. *Measurement Science and Technology*, 10(7), N87-N90. doi:10.1088/0957-0233/10/7/403 20

【非特許文献3】Schneider, R., Thurmel, P., & Stockmann, M. (2001). Distance measurement of moving objects by frequency modulated laser radar. *Optical Engineering*, 40(1), 33. doi:10.1117/1.1332772

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

本発明は、改善された測定デバイス、システムおよび方法を提供することを目的とする。 30

【課題を解決するための手段】

【0009】

本発明の一態様によれば、測定デバイスは：

光ディレクタおよび空間光変調器であって、光ディレクタは、光を空間光変調器に向けてるように配置されており、空間光変調器は、光ディレクタから光を受け取り、その光を変調して強度パターンを形成するように配置されている、光ディレクタおよび空間光変調器と；

強度パターンを形成した光を受け取るように配置され、強度パターンを測定空間に拡大するように構成されている光学エレメントと； 40

及び

測定空間から反射される光を検出するように配置されている検出器とを含む、測定デバイスが提供される。

【0010】

本発明の好ましい実施形態は、空間光変調器を使用して測定ビームを複数の成分に分割し、それらは複数のターゲットに向けられるのである。これによって、単一のビームを広い面積にわたって発散させる（光の使用としては大いに非効率的である）場合と比較すると、反射信号強度が大幅に増大する。それゆえ、はるかに大きいターゲット距離において使用可能な信号強度が受信される。これは、システムを危険に晒すことがある、単一のビームの出力の増大よりも良好である。 50

【 0 0 1 1 】

好ましくは、光学エレメントは、強度パターンを発散させるように測定空間に拡大するように構成されている。多くの従来技術のデバイスでは、光を浪費することを避けるために、コリメートされたビームを単一のターゲットに向けて方向付け目標と定める。しかしながら、本発明の好ましい実施形態において、空間光変調器は、測定ビームを複数の成分に分割することが可能であり、したがって複数のターゲットを同時に照明するため、測定ビームの成分の発散を小さく保ち、対象のターゲットに向けて特定の向けられ、強度パターンを発散させるように拡大することで、相当量の光が損なわれることはない。

【 0 0 1 2 】

好ましくは、空間光変調器はプログラム可能であり、それによって、強度パターンが制御可能である。これは、デバイスを、異なるシナリオに使用するために再構成すること、たとえば、測定すべき対象物が異なるというのも可能であることを意味し得る。また、これは、たとえば、1つまたは複数の反射性ターゲットが測定空間内で動くときに、光のビームがターゲットに追従するようにするために、測定空間内の動きを補償するようにデバイスが動作可能であり得ることも意味し得る。これは、小さな測定空間のみを照明するにもかかわらず、測定デバイスが、測定空間内で動く1つまたは複数のターゲットを絶えず照明し、その測定値をとることができることを意味し得る。

【 0 0 1 3 】

好ましくは、デバイスは、空間光変調器を制御するための制御ユニットを含み、制御ユニットは、空間光変調器を制御して強度パターンを形成し、光ディレクタからの光によって照明されると、測定空間内に少なくとも1つの光ビーム、好ましくは複数のビームを生成するように構成されている。上記のように、各ビームは好ましくは発散する。

【 0 0 1 4 】

制御ユニットは、各ビームを測定空間内の反射性ターゲットに向けるように動作可能であることが好ましく、光ディレクタは、測定空間からのリトロフレクト光を検出器に向けるように構成されることが好ましい。これにより、たとえば、デバイスがデバイスから1つまたは複数の反射性ターゲットまでの距離を求めることができるように、周波数走査インターフェロメトリを実行することが可能になる。

【 0 0 1 5 】

本発明の別の態様によれば、測定システムは：
上記で説明したような少なくとも1つの測定デバイスと；
測定空間内に位置付けられ、検出器へと光を反射するための少なくとも1つの反射性ターゲットと
を含む、測定システムが提供される。

【 0 0 1 6 】

好ましくは、各反射性ターゲットはリトロフレクト・ターゲットであり、これは、ターゲットが複数の測定デバイスによって囲まれ得ることを意味する。ターゲットを複数の測定デバイスによって囲むことは、純粋にデバイスからターゲットまでの距離ではなく、ターゲットの三次元座標が得られ得ることを意味する。

【 0 0 1 7 】

好ましくは、複数の反射性ターゲットは、測定されるべき1つまたは複数の対象物上に配置される。これによって、1つまたは複数の対象物の様々な点の正確な三次元測定値をとることを可能にすることができ、このことは、特に、正確さおよび精密さが必須である複雑な製品の組み立てにおいて大きな助けとなり得る。

【 0 0 1 8 】

本発明の別の態様によれば、ターゲットを測定する方法が提供され、これらには：
複数の反射性ターゲットを測定空間内に配置することと；
光を空間光変調器に向けることと；
空間光変調器を操作し、光を変調し、測定空間内に複数の光ビームを生成し、少なくとも1つのビームが反射性ターゲットの各々に向けられることと；及び

10

20

30

40

50

反射性ターゲットの各々から反射される検出光を検出し、それによって、各反射性ターゲットに関連付けられる測定値を求めるステップが含まれる。

【0019】

本発明の好ましい実施形態は、複数のターゲットの距離および座標を同時に測定するための測定デバイス、システムおよび方法を提供する。好ましい実施形態は、他の機器にまさる以下の利点を提供する。

【0020】

複数のターゲット位置を同時に測定し、結果として全体的な測定時間を低減し、カバレージを増大させる（見通し線が少なくなる問題）。

【0021】

本質的にそれほど正確でない角度データではなく、距離データのみに基づいて座標が高精度で測定される。

【0022】

自己キャリブレーション；座標フレームが機器の機械構造によって物理的に規定されるのではなく、データから直接導出される。

【0023】

添付の図面を参照して本発明の実施形態が、実施例としてのみ、下記に説明される。

【図面の簡単な説明】

【0024】

【図1】本発明の一実施形態による測定システムの概略図である。

【発明を実施するための形態】

【0025】

図1を参照すると、測定システムは、波長可変レーザ100の形態の光源を含む。波長可変レーザ100は、1530nm～1560nmのモードホップ・フリー同調範囲を有する連続波外部共振器型ダイオード・レーザである。しかしながら、必要に応じて他の周波数範囲を利用することができる。

【0026】

システムは、この例においては、コンピュータ182の形態の制御ユニットをも含む。レーザ100は、コンピュータ182からの、波長同調特性を制御する入力を受け入れるように構成されている。

【0027】

レーザ100の出力光は、単一モード偏光保持ファイバに結合され、ファイバ・スプリッタ102に導かれる。

【0028】

ファイバ・スプリッタ102は、受け取る光を2つの部分に分割する。第1の部分は、光ファイバ122に沿って測定デバイス120に対して方向付けられ、第2の部分は光ファイバに沿ってクロック・ボックス150に向けられる。

【0029】

測定デバイス120は、ファイバ122を通じて受け取られる入力光を光ディレクタへと向けるように構成されている。光ディレクタは、ファイバ・サーキュレータ124の形態の導光素子と、光ファイバ126の形態の光分割器とを含む。

【0030】

測定デバイス120は、ファイバ122を通じて受け取られる入力光をファイバ・サーキュレータ124の第1のポートへと向けるように構成されている。ファイバ・サーキュレータ124は、第1のポートに入る光を、第2のポートを通じてファイバ126へと向けるように構成されている。

【0031】

ファイバ126は、下記に説明される、空間光変調器130に向けて方向付けられている平面研磨ファイバ端部を含む。平面研磨ファイバ端部は、到達する光の約4%をファイバ126に反射し戻す。この反射光が、下記に説明するような干渉計の基準経路を形成す

10

20

30

40

50

る。反射光はファイバ・サーキュレータ124の第2のポートに再び入る。ファイバ・サーキュレータは、第2のポートに入る光を、検出器フォトダイオード142の形態の検出器に結合されている第3のポートに向けるように構成されている。

【0032】

その後光ファイバ126の平面研磨端部から反射されない、ファイバ・サーキュレータの第2のポートを出る光は、ファイバ126を出て、第1のレンズおよび第2のレンズ128の形態の光学エレメントに向けて進行する。レンズ128は、光をコリメートおよび拡張して所定幅のビームにするように構成されている。このビームは、空間光変調器(SLM)130を通じて方向付けられる。

【0033】

この実施形態において、SLM130は、800×600ピクセル液晶マイクロディスプレイである。しかしながら、SLMは、各ピクセルを通じて伝送される光の一部および/または各ピクセルを通じて伝送される光の位相遅延を独立して変調することが可能な任意のコンポーネントであってもよい。SLM130は、SLM上に表示されるべき伝送レベルのパターンをプログラムするコンピュータ182からの入力を受け入れるように構成されている。

【0034】

SLM130を通過した後、光は第3のレンズ132の形態の光学エレメントを通じて進み、平面134に到達する。明瞭にするために、必ずしも何らかの物理的な物体が平面134に配置されているとは限らず、これは特に対象となる平面であるに過ぎないことに留意されたい。

【0035】

SLM130と第3のレンズ132との間の距離は、第3のレンズ132の焦点距離に等しいことが好ましい。第3のレンズ132と平面134との間の距離も、レンズ132の焦点距離に等しい。フーリエ光学の分野において既知であるように、SLM130および第3のレンズ132のそのような構成の結果として、平面134における光場は、SLM130を出る変調光場のフーリエ変換に等しくなる。これによって、SLM130上に表示されるパターンによって制御される任意の強度パターンを平面134に作成することが可能になる。

【0036】

平面134上の強度パターンは、第4のレンズ136の形態の光学エレメントによって、遠隔平面140上に結像される。図1は原寸に比例して描かれてはいないこと、および、遠隔平面140は一般的に、図示されているよりも大幅に大きく、さらに離れていることに留意されたい。好ましくは、遠隔平面140は、平面134から実質的に無限遠の距離にある。第4のレンズ136は、平面134上の強度パターンを拡大して広い角度範囲にわたって投影するように、好ましくは0.2よりも高い、より好ましくは0.4よりも高い、最も好ましくは0.6よりも高い、高い開口数を有することが好ましい。必要とされる角度範囲に応じて、他の開口数値が使用されてもよい。

【0037】

1つまたは複数のリトロリフレクト・ターゲット138が、第4のレンズ136を越えた測定空間内の測定すべき1つまたは複数の対象物(図示せず)に取り付けられている。

【0038】

SLM130は、コンピュータ182の制御の下で、SLMを通過する光を変調するように動作可能であり、一組の輝点を含む平面134における強度パターンを生成する。平面134上の強度パターン内の各点が、第4のレンズ136と平面140上の点の像との間に光のビームを生成する。ビームが現れる角度は、平面134上の点の位置によって求められる。SLM130は、各ビームがリトロリフレクト・ターゲット138の1つを照明し、各リトロリフレクト・ターゲット138が1つのビームによって照明されるようにスポット(それゆえ、ビーム角度)が生成されるように動作可能である。第4のレンズ136は平面134における強度パターンを平面140における大きい面積に拡大するので

10

20

30

40

50

、第4のレンズ136から現れるビームはわずかに発散する。第4のレンズ136から見たときに2つ以上の反射性ターゲット138が小さい角度範囲内にある場合、ビーム直径はターゲット直径よりも大きくなり得るため、照明ビームのいくらかは重なり得る。

【0039】

リトロリフレクト・ターゲット138は屈折率が2にほぼ等しいガラス球である。既知であるように、そのような球体は、キャッツアイ・レトロリフレクタ(Takatsuji, Goto, Osawa, Yin, & Kurosawa, 1999)として作用し、それゆえ、各ターゲットに入射する光の一部分は第4のレンズ136に向けて反射し戻される。反射性ターゲット138は、好ましくは光を第4のレンズ136に向けて反射し戻すことによって、光を検出器に向ける限り、レトロリフレクタである必要はない。しかしながら、リトロリフレクト・ターゲット138が任意の方向から入射する光をリトロリフレクトする場合に利点を得ることができ、これは、各ターゲットが光を一度に複数の測定デバイスにリトロリフレクトすることができることを意味する。

10

【0040】

第4のレンズ136に到達した反射光は、ファイバ126に到達して入るまで、上記で説明したものと逆の順序で、測定デバイス120の要素を通じて戻る。

【0041】

ファイバ126を下って逆にファイバ・サーキュレータ124に向けて進行する光は、ファイバ端部からの4%の反射に由来する光を含み、本明細書ではこれを基準経路と称する。ファイバ126を下って逆に進行する光は、リトロリフレクト・ターゲット138から反射された後に戻ってきた光も含む。リトロリフレクト・ターゲット138から反射された後に戻ってきた光は、複数の異なる経路を含む。各レトロリフレクタから戻ってきた光について、1つの明瞭に区別できる経路がある。これらは、本明細書において測定経路と称される。基準経路からの光は測定経路の各々からの光と干渉し、干渉信号が生じる。任意の2つの測定経路からの光も干渉するが、測定経路の強度は一般的に基準経路よりもはるかに低く、それゆえ、これらの干渉信号の振幅は無視できるものであることに留意されたい。

20

【0042】

ファイバ126を下って逆に進行する光は、ファイバ・サーキュレータ124の第2のポートに入る。上記で説明したように、ファイバ・サーキュレータ124の第2のポートに入った光は、第3のポートを介して検出器フォトダイオード142にルーティングされ、検出器フォトダイオードは、これに含まれるすべての干渉信号を含む、受け取られる光強度を電圧信号に変換し、電圧信号は、検出器フォトダイオード142およびコンピュータ182に結合されているアナログ-デジタル変換器(ADC)180によって記録される。

30

【0043】

クロック・ボックス150は、ファイバ・スプリッタ102からの光の第2の部分、入力光として受け取る。クロック・ボックス150は、その入力光を、ファイバ・スプリッタ152を含む非平衡ファイバ・マッハ-ツェンダー干渉計を通じて方向付け、その干渉計の出力は、長さの等しくないファイバ154および156によってさらなるファイバ・スプリッタ158の入力部に結合されている。この干渉計の出力は、フォトダイオード160および162に接続されているさらなるファイバ・スプリッタ158の出力である。フォトダイオード160および162の光電流の差は差動増幅器164によって増幅され、サンプル取得のためのトリガ信号としてADC180に提供される。

40

【0044】

上記で説明したように、コンピュータ182は、ADC180からデジタル化信号を受信すること、レーザ100の同調を制御すること、および、SLM130上に投影されるパターンを制御することを含む、測定プロセスを制御する。

【0045】

コンピュータ182は、リトロリフレクト・ターゲット138のいずれかの動きを補償

50

するように空間光変調器を制御するようにも動作可能である。これを行うことができる様々な方法がある。いくつかの実施形態において、複数の測定デバイス120が測定空間の周囲に設けられているシステムが提供され得る。上記で説明したように、これは、各ターゲットの三次元位置を計算するのに使用することができる。コンピュータ182が三次元位置から、ターゲットが測定デバイス120のビームから外れて動いていると判定すると、コンピュータは、第4のレンズ136から現れるビームがリトロリフレクト・ターゲット138の各々を照明し続けるように、それぞれのデバイス120のSLM130上に投影されるパターンを調整することができる。

【0046】

図1に示されているシステムを使用した測定は以下のように実行される。

10

【0047】

最初に、ターゲット138が位置特定される。これは、様々な方法で行うことができる。たとえば、おおよその位置を得るためにカメラ・システムが使用される場合があり、または、測定空間を走査するように測定デバイスを操作することができ、測定空間からの反射を検出器が検出する点を、ターゲット位置として記録することができる。

【0048】

ゲルヒベルク - ザクストン・アルゴリズム (Gerchberg & Saxton, 1971) SLM130上に表示するパターンを設計するのに使用され、正確な位置に平面134上の輝度強度スポットを生成し、リトロリフレクト・ターゲット138の各々を照明するビームを生成する。このアルゴリズムはコンピュータ182内に実装することができる。コンピュータ182は、結果もたらされるパターンをSLM130に送り、SLMを操作してこのパターンを表示する。

20

【0049】

その後、コンピュータ182は1530nm~1560nmのレーザのほぼ線形の波長走査を起動するコマンドを波長可変レーザ100に送り、同時に、ADC180に、データの記録を開始するように命令する。

【0050】

波長可変レーザ100から出力される光の一部はクロック・ボックス150に入り、ファイバ・スプリッタ152、長さの等しくないファイバ154および156、ならびにさらなるファイバ・スプリッタ158を備える非平衡ファイバ・マッハ - ツェンダー干渉計を通過する。干渉計の2つの出力は、レーザ光周波数とともに変化する正弦波信号であり、レーザ周波数が所定量だけ増大するたびに1サイクルを経る。2つの干渉計出力は180度位相がずれており、それゆえ、差動増幅器164を使用してフォトダイオード160および162の光電流の差を増幅することによって、干渉計からの正弦波信号は保持され、レーザ強度変動のような同相雑音は排除される。したがって、差動増幅器164からの出力電圧信号のゼロ交差が、レーザ光周波数の規則的な間隔において発生する。

30

【0051】

ADC180は、差動増幅器164の出力が正方向において0ボルトに交差するときはいつでも、検出器フォトダイオード142からサンプルを取得する。このように、ADCは、クロック・ボックス150の出力によって制御されるタイミングで、検出器フォトダイオード142の電圧信号出力をサンプリングする。

40

【0052】

ADC180は、レーザ波長掃引の継続時間にわたって上記で説明したように検出器フォトダイオード142からの電圧を記録し、このデータを分析のためにコンピュータ182に提供する。

【0053】

コンピュータ182は、検出器フォトダイオード142から取得される電圧値のフーリエ変換を計算する。フーリエ変換の振幅が、ピークを見つけるために分析される。各ピークは、リトロリフレクト・ターゲット138の1つに対応し、ピークの周波数は、それぞれのターゲット138までの距離に比例する。

50

【0054】

検出器内のセンサがリトロリフレクト・ターゲット138の動きを検出し、これをコンピュータ182に報告すると、コンピュータは、SLM130上に表示するためのパターンを調整するためにゲルヒベルク - ザクストン・アルゴリズムを再び適用し、結果もたらされるパターンをSLM130に送り、それによって、第4のレンズ136から現れるビームが照明し続け、システムは、リトロリフレクト・ターゲット138の各々を測定し続けることができる。

【0055】

上記で説明された実施形態に変更を行うことができる。波長可変レーザは、出力を増大させるために光増幅器、たとえば、エルビウム・ドープ・ファイバ増幅器を含んでもよく、これは、大きい距離にあるターゲットを測定するのに有益である。

10

【0056】

第3のレンズ132は、レンズ128とSLM130との間に位置してもよい。レンズ128およびレンズ132がこのように隣り合って位置するとき、3つすべてのレンズの機能(SLMに入射するビームの規定のサイズおよび収束角度をもたらず)は、異なる数のレンズ、たとえば、2つのレンズを使用して達成され得ることを、当業者は認識しよう。

【0057】

上記で説明した実施形態は、単一の周波数掃引レーザを使用して距離測定を行う。測定は代わりに、(Schneider, Thurmel, & Stockmann, 2001)に記載されているもののような2レーザ構成を使用して行われてもよい。これによって、レーザ周波数掃引中のターゲットの動きによって引き起こされる測定誤差に対する耐性が増大する。

20

【0058】

光ディレクタがファイバ導光素子および光分割器を含む必要はない。光ディレクタは、光を空間光変調器に向けることが可能である任意の光学エレメントであってもよい。しかしながら、光ディレクタはまた、リトロリフレクト光を検出器に向けることが好ましい。

【0059】

光分割器は光ファイバである必要はなく、入力光の第1の部分空間光変調器に導き、入力光の第2の部分を検出器に導くように構成されている任意の光学エレメントであってもよい。

30

【0060】

ファイバ126の端部は部分反射コーティング、たとえば、33%反射コーティングを与られてもよい。これによって、フォトダイオード142上で観測される干渉信号の振幅が増大し得る。

【0061】

光学エレメントの多くがレンズであるものとして上記で説明されているが、適切なレベルの拡大および/または結像をもたらず限り、他の光学エレメントが使用されてもよい。たとえば、曲面鏡をレンズに置き換えてもよい。さらに、任意の単一のレンズの代わりに、いくつかのレンズの組合せが使用されてもよい。

40

【0062】

上記で説明した実施形態は、透過型SLMを使用する。既知であるように、同じ効果を達成するのに反射型SLMが使用されてもよい。そのような構成要素が使用され得る様々な既知の光学構成がある。ある構成では、光が反射型SLMに小さい角度で導かれる。別の構成では、光は、偏光ビームスプリッタ・キューブを通して反射型SLM面上に向けられ、SLMとビームスプリッタ・キューブとの間に半波長板のような複屈折エレメントが備えられる。

【0063】

ゲルヒベルク - ザクストン・アルゴリズム以外のアルゴリズムが、SLM上に表示するためのパターンを設計するのに使用されてもよい。

50

【 0 0 6 4 】

本発明によるシステムのさらなる実施形態において、リトロフレクト・ターゲット 138 は、複数の測定デバイス 120 によって囲まれ、各測定デバイス 120 は上記で説明したように構成されている。

【 0 0 6 5 】

各測定デバイスにそれ自体の光源 100 を設けられてもよく、または、単一の光源からの光が複数の測定デバイス 120 の間で分割されてもよい。

【 0 0 6 6 】

各測定デバイス 120 にそれ自体のクロック・ボックス 150 および A D C 180 が設けられてもよく、または、複数の入力チャンネルを有する単一のクロック・ボックス 150 および A D C が、複数の測定デバイス 120 に対して使用されてもよい。しかしながら、すべての測定デバイス 120 について A D C 180 によって取得されたデータが、コンピュータ 182 に提供される。

【 0 0 6 7 】

この実施形態において、コンピュータ 182 は、測定デバイスの各々からのリトロフレクト・ターゲット 138 の各々の距離の詳細を取得する。測定デバイス 120 の相対的な配置が分かっている場合、このデータはコンピュータによって、リトロフレクト・ターゲット 138 の各々の三次元座標を生成するのに使用され得る。これは、ともに組み立てられる必要がある大きいコンポーネント、たとえば、航空機胴体のコンポーネントの三次元空間における位置をトラッキングするのに特に有利であり得る。

【 0 0 6 8 】

測定デバイス 120 およびリトロフレクト・ターゲット 138 の相対的な配置を得ることができる 1 つの方法は、測定距離に一致する推定値を見つけるために未知のパラメータ（測定デバイスおよびリトロフレクト・ターゲットの位置）の推定値を調整する最小二乗法フィッティング・プロセスを実行することである。これは、写真測量法における既知の「バンドル調整」プロセスに類似している。このプロセスは、未知のパラメータよりも多くの測定距離があり、すべての測定デバイス 120 およびリトロフレクト・ターゲット 138 に対してその 3 つ（デカルト座標フレームにおける x、y、および z 位置に対応する）があることを必要とする。たとえば、これは、各々が同じ 6 つ以上のリトロフレクト・ターゲットを観測する 4 つの測定デバイスを用いて達成され得る。

【 0 0 6 9 】

ターゲット 138 は、測定デバイス自体の上に設けられてもよい。これによって、さらなる情報が上述した最小二乗法フィッティングプロセスにもたらされ、これによって、測定座標の正確さが増大し得る。

【 0 0 7 0 】

ターゲット 138 は、壁または床のような安定した位置に取り付けられて設けられてもよい。これらは、対象物の位置または動きと比較するための固定基準フレームを規定するのに使用され得る。

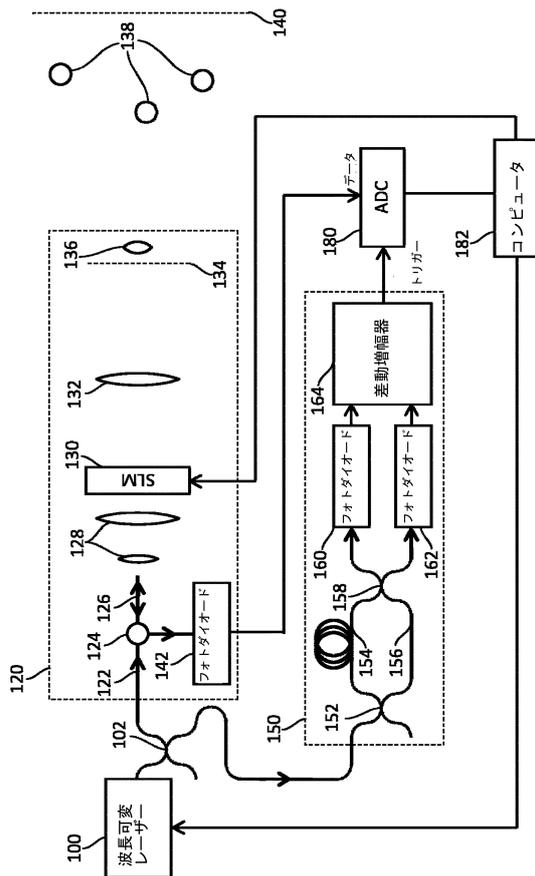
【 0 0 7 1 】

本発明の実施形態の応用形態は、レーザ・トラックおよび写真測量法、誤差マッピング C M M、機械ツールおよび移動ステージ、ならびに構造変形のモニタリングによって供給される応用形態と同様の、一般的な座標計測を含む。これらの応用形態は、たとえば、航空産業において、ジグ、変形のモニタリングに、または翼もしくは胴体の組み立て時に特に有用であり得る。これらの応用形態は、宇宙開発技術において、たとえば、例として熱真空下試験時の衛星部品の変形のモニタリングにも有用であり得る。これらの応用形態は、自動車産業、または再生可能エネルギーにおいて、たとえば、風力タービン翼の変形の測定に、または、科学研究において、たとえば、粒子加速器および大型望遠鏡、ならびに、正確さおよび精密さが必須である他の機器内の重要な構成要素の位置合わせに使用することができる。別の可能性のある応用分野は、真空下で組み立てられるときに部品の精密な位置合わせを必要とするフラット・スクリーン T V パネルの組み立てである。

【 0 0 7 2 】

説明されている実施形態および従属請求項のすべての任意の好ましい特徴および変更形態は、本明細書において教示されている本発明のすべての態様において使用可能である。さらに、従属請求項の個々の特徴、ならびに、説明されている実施形態のすべての任意の好ましい特徴および変更形態は互いに組合せ可能であり、交換可能である。

【 図 1 】



フロントページの続き

(72)発明者 ワーデン, マシュー スチュアート
イギリス国 グレイターロンドン エスタブリッシュメント 0 イーティアー ロンドン ヴィクトリア
ストリート 1 ザ セクレタリー オブ ステイト フォー ビジネス イノベーション ア
ンド スキルズ内

審査官 三好 貴大

(56)参考文献 特開平05 - 018710 (JP, A)
米国特許出願公開第2006 / 0227317 (US, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G 0 1 B	1 1 / 0 0 - 1 1 / 3 0
G 0 1 C	3 / 0 0 - 3 / 3 2
	1 5 / 0 0
G 0 1 S	7 / 4 8 - 7 / 5 1
	1 7 / 0 0 - 1 7 / 9 5